

(19) JAPANESE PATENT OFFICE (JP)

(12) PUBLICATION OF UNEXAMINED (KOKAI) PATENT APPLICATION (A)

(11) Kokai (Unexamined Patent) Number: 61-116889

(43) Date of Disclosure: June 4, 1986

(51) Int. Cl. <sup>4</sup> H 01 S 3/04	Identif. Symbol	Intra-Office Number 6370-5F	Number of Inventions: 1
			Examination Requested: Not yet requested.
			(Total of 7 Pages)

---

(54) Title of the Invention: DISCHARGE EXCITATION SHORT-PULSE LASER DEVICE

(21) Application Number: 59-239268

(22) Filing Date: October 13, 1984

(72) Inventor: Takeo Haruta  
c/o Mitsubishi Electric Corporation, Itami Plant  
Amasaki-shi, Tsukaguchi Honcho, 8-chome, 1-ban, 1-go

(72) Inventor: Hitoshi Wakata  
c/o Mitsubishi Electric Corporation, Itami Plant  
Amasaki-shi, Tsukaguchi Honcho, 8-chome, 1-ban, 1-go

(72) Inventor: Yukio Sato  
c/o Mitsubishi Electric Corporation, Itami Plant  
Amasaki-shi, Tsukaguchi Honcho, 8-chome, 1-ban, 1-go

(72) Inventor: Haruhiko Nagai  
c/o Mitsubishi Electric Corporation, Itami Plant  
Amasaki-shi, Tsukaguchi Honcho, 8-chome, 1-ban, 1-go

(74) Representative: Masuo Oiwa, patent attorney

Continues on the last page.

Specifications

1. Title of the Invention: Discharge Excitation Short-Pulse Laser Device

2. Scope of the Claim of the Invention

(1) A discharge excitation type of a short pulse laser device, characterized by the fact that a first main discharge electrode is mounted in the longitudinal direction to the axial direction of the laser light in the laser gas current,

a second main discharge electrode having a plurality of perforated parts is mounted opposite the first main discharge electrode,

a dielectric layer is deployed tightly attached to the back surface of the second main discharge electrode,

and an auxiliary electrode is deployed opposite the second main discharge electrode tightly attached to this dielectric;

wherein a heat radiating fin is deployed at least for said auxiliary electrode or said dielectric,

using a construction comprising a pulse circuit enabling to apply a pulse voltage between said main discharge electrodes, wherein said pulse circuit is formed as a part of this construction, or this pulse circuit is formed independently;

equipped with a circuit enabling to apply voltage between said auxiliary electrode and said second main discharge electrode.

(2) The discharge excitation type of a short pulse laser device described in claim 1, characterized by the fact that a heat radiating fin is mounted in the laser gas current.

3. Detailed Explanation of the Invention

(Sphere of Industrial Use)

The subject of this invention is a discharge excitation type of a short pulse laser, in particular it relates to cooling of the electrode part of the laser.

(Prior Art Technology)

Figure 4 shows a profile view explaining one example of an excimer laser device according to a conventional discharge excitation type of a short pulse laser device. As shown in the figure, (1) is a source of high voltage, numbers (2), (5), and (7) indicate capacitors, (3) is a

high resistance resistor, (4) is a switch, (6) is a coil, (9) is a first main discharge electrode mounted in the longitudinal direction of the axis of the laser light (vertical direction to paper surface) deployed in a current of laser gas, (8) is a second main discharge electrode, that is to say a perforated electrode provided with openings which has a part provided with multiple openings and which is mounted opposite the first main discharge electrode (9), (11) is a dielectric which deployed so that it is tightly attached to the back surface of perforated electrode (8), (10) is an auxiliary electrode positioned opposite perforated electrode (8), mounted so that it is tightly attached to this dielectric (11), (12) is a heat exchanger, (13) is a fluid guide, (14) is a fin, (15) is a laser housing unit, (16) is an insulator, (17) is a space for the main discharge, and arrow (18) indicates the direction of the laser gas.

[page 452]

In addition, Figure 5 shows a top view of said perforated electrode (8) seen from the main discharge space (17). Number (19) indicates in this figure the perforated part.

The following is an explanation of the operation.

The circuit system will be explained first. When a charge is furnished from a high-voltage source (11), the charge will be first stored in capacitor (2). Next, switch (4) is activated so that the electric charge which has been stored in capacitor (2) will be transferred to capacitor (5) through switch (4) setting the conductive state from capacitor (2) continuing through a grounding line to capacitor (5) and coil (6), and furnishing charge stored in capacitor (2) to capacitor (5). Accompanying this prompt transfer of the electric charge will be a sudden increase of the voltage in the space between perforated electrode (8) and the first main discharge electrode (9) (hereinafter referred to as the electrode space between the main discharge electrodes) and perforated electrode (8) and auxiliary electrode (10) (hereinafter referred to as the electrode space between the auxiliary electrodes). Because the initial voltage of the auxiliary electrodes is lower than the initial voltage of the main discharge electrodes, first, an auxiliary discharge will be initiated on the surface (electric discharge along the surface area) of dielectric (11) in the perforated part (19) created in perforated electrode (8). One part of the electrons generated by this auxiliary electrode and electrons generated by ionization with ultraviolet light rays emitted from the field of the electric discharge will be used to create a homogenous glow state of the main discharge. Next, the main discharge generated in the main discharge space (17) in a pulse form will excite a laser medium and laser light rays will be fetched as a result of this. The pulse width of this laser light is determined by the pulse width of the main discharge. To give an example, this will correspond to several tens of nsec in an excimer laser at the point when 1 short pulse of the laser is created. A common thyratron type can be used for switch (11) with a laser pulse oscillation frequency in the range of several Hz to several kHz. Normally, a repeating speed of several hundred Hz can be used.

The fluid system will be explained next. Because the main discharge electrode space (17) in which the main discharge is generated in a pulse form will be generally in an unstable state from the viewpoint of thermal energy and from the viewpoint of the distribution of the electric charge, the next pulse main discharge can easily create an arc and the laser gas thus must be replaced in the main discharge space (17) before the main pulse discharge is generated. Because of that, a heat exchanger (12) is deployed in order to prevent increased temperature caused by the discharge of laser gas, together with a fluid guide (13) and fin (14), creating a construction wherein the flow rate in the space of the discharge enables a high speed of the gas current (18), normally several tens m every second.

The cooling of perforated electrode (8) and dielectric (11) can be accomplished in this prior art example only by the heat transfer with natural convection in back face space (12) via the back face of auxiliary electrode (10) and with the turbulence heat transfer in said gas current (18). On the other hand, the space in which the auxiliary discharge and the main discharge is generated along the surface on the side of perforated electrode (8) will form a surface to which heat will be input.

If one attempts to calculate the order of heat input by using excimer lasers as an example while taking into account a laser pulse energy of 200 mJ/pulse and a machine type which has a mean output of 200 W with a repeating speed of 1 kHz, the normal laser oscillation efficiency will be 1%. Therefore, the energy stored in capacitor (2) will correspond to 20 kW. If the ohmic loss in the circuit system is about a half, 10 kW will be input to the gas. This means that the result will be on the order of several hundred W even if the heating source is formed in the part of perforated electrode (3), which means that barely several % of the total is achieved.

On the other hand, if one attempts to calculate also the turbulence heat transfer conditions (for instance as described by Yoshiro [illegible last name], in Heat Transmission Equipment, published by [illegible name of the publishing house], p. 116 (1982)), by using Kalman's analog method based on Nusselt's number (expressed as  $N_u^x$ ), Reynold's number (expressed as  $R_e^x$ ), Prandtl's number (expressed as  $P_r$ ), local heat transmission rate (called  $h^x$ ), heat conductivity of fluids (expressed as  $\lambda_{He}$ ) with helium gas can be used for test calculations (because helium composition represents at least 90% of a common excimer laser), at the end of the gas current flow period of perforated electrode (8), the local heat transmission rate can be calculated by using all the following variables with the distance (expressed as  $x$ ) up to upper part of perforated electrode (8):

[insert Formula (1) and formula (2) at the bottom of page 452]

The pressure of He can be set to 3 atmospheres, which corresponds to normal operating pressure of excimer lasers, and the gas flow rate can be set to a normal flow rate of 20 m/sec for an excimer laser, the width of the shape of perforated electrode (8) can be set to 0.06 m, and the length in the direction of the optical axis of the laser rays to 0.6 m. Assuming a distance  $x$  of 0.03 m, that is to say when a central point is set for the electrode with, Reynold's number ( $R_e^x$ ) will

correspond to  $1.6 \times 10^4$ .

[page 453]

In addition, because Prandtl's number (expressed as  $P_r$ ) for gases corresponds to 0.7 for helium, resulting in heat conductivity of  $0.13 \text{ kcal/mhr } ^\circ\text{C}$ , this means that local heat transmission rate  $n^x$  can be calculated as  $2.8 \times 10^2 \text{ kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

Assuming that the difference between the temperature of helium gas and the temperature of perforated electrode (8) is for example  $20^\circ\text{C}$ , the quantity of heat that will be removed will correspond to about 200 W, which is only about the same or less than the above described heat input.

In addition, if this set temperature difference is  $20^\circ\text{C}$  and perforated electrode (8) is manufactured for instance from nickle (because this is the most desirable material for excimer lasers), since its linear expansion coefficient is  $0.15 \times 10^{-4}$ , perforated electrode (8) will be also expanded by 0.2 mm. Since a perforated electrode is generally used with a construction wherein it is tightly attached to dielectric (11), so called "cambering" will be displayed due to this elongation in perforated electrode (8) and dielectric (11) as the attachment of dielectric (11) to perforated electrode (8) will not occur smoothly.

#### (Problems To Be Solved By This Invention)

Because discharge excitation laser devices of the short-pulse type according to prior art were characterized by the above described construction, when the repeating speed was increased in order to increase the mean laser output and heating was applied to perforated electrode (8) and dielectric (11), this would result in rupturing of dielectric (11) due to thermal stress and cambering of perforated electrode (8). And because this in turn resulted in an uneven length of the gap between the main discharge electrodes, the problem was that an arc of the main discharge electrode could easily occur in this manner.

The purpose of this invention is to resolve the above mentioned problem area with a simple method enabling cooling of the perforated electrode and of the dielectric to make it possible to obtain a discharge excitation type short-pulse laser device enabling stable operations even when the repeating speed of laser oscillations is increased.

#### (Means To Solve Problems)

According to the discharge excitation short-pulse laser device of this invention, a first main discharge electrode is mounted in the longitudinal direction to the axial direction of the laser light in the laser gas current, a second main discharge electrode having a plurality of

perforated parts is mounted opposite the first main discharge electrode, a dielectric layer is deployed tightly attached to the back surface of the second main discharge electrode, and an auxiliary electrode is deployed opposite the second main discharge electrode tightly attached to this dielectric; wherein a heat radiating fin is deployed at least for said auxiliary electrode or said dielectric, using a construction comprising a pulse circuit enabling to apply a pulse voltage between said main discharge electrodes, wherein said pulse circuit is formed as a part of this construction, or this pulse circuit is formed independently; equipped with a circuit enabling to apply voltage between said auxiliary electrode and said second main discharge electrode.

(Operation)

The heat radiating fin of this invention, which will be described in more detail later, provides an optimal cooling effect for the perforated electrode and for the dielectric.

(Embodiment)

The following is an explanation of one embodiment of this invention based on the enclosed figures. Figure 1 (a) [on the left side] shows a profile view indicating one embodiment of this invention, while Figure 1 (b) [on the right side] shows a profile view of a section of the main part of Figure 1 (a) indicated in the upper part of the figure. As shown in the figure, [illegible number] is a heat radiated fil mounted in this example on auxiliary electrode (10).

The operation will be explained in detail next. Perforated electrode (8), dielectric (11) and auxiliary electrode (1) form from the viewpoint of thermal structure a layered construction consisting of 3 layers. If for example nickle is used for perforated electrode (8) and auxiliary electrode (10) and aluminum is used for dielectric (11), the value of the overall coefficient of thermal conductivity will be on the order of  $10^4$  kcal.m<sup>2</sup> hr°C. As was explained above, this is greater by two digits than the thermal conductivity of the helium gas in perforated electrode (8). Accordingly, the cooling accelerating stage enables to provide an optimal effect thanks to the thermal conductivity transition of the laser gas, as was explained above, more than 90% when for example helium is used in an excimer laser. Moreover, to make it possible to realize a simpler method, it is desirable to use a coolant in the electrode containing a laser gas, while the temperature can be also controlled with heat exchanger (12). First, if a ratio n is set for the gas flow rate and Reynold's number is multiplied n times, even if the resulting thermal conductivity equals approximately n, the problem is that the pressure loss in the discharge space (17) equals  $n^2$  (because it will be proportional to the square of the flow velocity).

An example of the cooling of auxiliary electrode (10) will now be considered. As was explained above, due to a high thermal conductivity in the space of [illegible] plates of auxiliary electrode (10) and dielectric (11) and perforated electrode (8), a sufficient cooling effect can be achieved in perforated electrode (8) and dielectric (11) when cooling is applied to auxiliary electrode (10).

In order to do that, a heat radiating fin (20) is mounted on auxiliary electrode (10), so as to conduct the current of laser gas to this laser radiating fin (20). Assuming a surface area  $A$  of the auxiliary electrode (10), the surface area of the remaining part which is not provided with a fin (i) is expressed as  $A_o$ , while a part of  $A$  is provided with fin (20), while the total surface area of fin (20) is expressed as  $A_f$  and the thermal conductivity of the surface of the fin is expressed as  $h_o$ , then the thermal conductivity coefficient can be expressed according to the following formula:

[page 454]

[see Formula (3) in the left top corner of page 454]

The value of the fin effect, which will be called  $\eta$  here, will be determined by the thermal conductivity coefficient of the material of fin (2) and by the thermal conductivity coefficient on the surface of fin (2), by the thickness of fin (20) and by the height of fin (20). As one can see from Formula (3), when the shape of the fin is chosen so as to increase  $\eta A_f$ , this will make it possible to maximize the value  $h$ . An example of this concept will now be explained.

If the profile surface area of auxiliary electrode (10) is selected similarly to the surface area of perforated electrode (8) with a width of 0.06 m, a length of 0.6 m is selected in the axial direction of the laser light, and 200 plates of discharge fins (20) which are 0.02 m high and 0.5 mm thick are deployed at an interval of 2.5 mm in a direction orthogonal to the laser light,  $A_o$  corresponding to  $0.03 \text{ m}^2$  and  $A_f$  corresponding to  $0.48 \text{ m}^2$  will be created. In addition, if nickle is used as the material of this fin and the gas flow velocity of the gas passing through the fin part (20) is 20 m/sec, according to Yoshiro Kodo, (Theory of Thermal Conductivity, [illegible name of the publishing house], p. 27 (1982), the thermal conductivity coefficient of the surface of fin (20) will be created with a fin efficiency  $\eta$  of 0.86 and it will thus be determined as  $2.6 \times 10^2 \text{ kcla/m}^2$ . Therefore, since the thermal conductivity ratio  $h$  will be determined in accordance with formula (3) as  $3.2 \times 10^3 \text{ kcal/m}^2$ , this means that the prior art example is improved by as much as 1 digit.

The operation will be explained next. Since the operation of the circuit system has been already explained in Figure 4, this part will be omitted from the explanation provided for Figure 1.

First, laser gas will be circulated with fin (14). The gas discharged into the main discharge space (17) is cooled to a specified temperature by heat exchanges (12) and then it is returned again to the main discharge space (17). However, one part of this gas will be supplied to the part of heat radiating fin (20) which is deployed on the back surface of auxiliary electrode (10) so that cooling will be applied via auxiliary electrode (10) in dielectric (11) and perforated electrode (8). The gas will be mixed again with the gas which has passed through main discharge space (17) and discharge fin part (20) and it will be conducted to heat exchanger (12).

In this embodiment, the thickness of perforated electrode (8) was 0.5 mm, the thickness of the dielectric (11) was 2 mm, and the thickness of the auxiliary electrode (10) was 1 mm, while the values used for the profile surface area of each electrode, for the size of fin (20), and for the gas flow velocity were calculated according to the above explained method for calculation of thermal conductance coefficient.

When no heat radiating fin (20) was deployed while oscillations were generated with a laser pulse energy of 100 mJ/pulse by using an excimer laser with 3 atmospheres (He : Xe : Cl = 0.15 : 0.75 : 99.1), an irregular gap length was obtained between the main discharge electrodes due to cambering caused by the thermal expansion of perforated electrode (8) at the stage when the repeating speed was 300 Hz. While a glow form of the discharge and a filament form of the discharge occurred, the filament shape of the discharge was not generated in this example until the repeating speed of 400 Hz, which proved the efficiency of this cooling method. Needless to say, this difference is likely to be even more conspicuous when the repeating speed is increased again on the order of a kHz.

Figure 2 shows another embodiment of this invention. In this embodiment, main discharge space (17) and heat radiating fin (20) parts are arranged in series in the gas flow channel. Accordingly, while in the case in which both parts were arranged in parallel as shown in Figure 1, the gas current quantity of fin (14) had to be increased only by an amount corresponding to the gas current passing through the heat radiating part (20), the gas current quantity can be left as is in the present embodiment form and the discharge pressure of fin (14) must be increased. The type of mode that is used will be more or less determined by the capability of fin (14).

Figure 3 shows a profile view indicating a heat radiating part according to yet another embodiment of this invention. Auxiliary electrode (10) is embedded in this embodiment in the inner part of dielectric (11). Because this construction is used, heat radiating fin (20) is mounted in dielectric (11). Metal can be used in this case as the material of heat radiating fin (20) in spite of the dielectric.

Furthermore, although the explanation of each of the excimer lasers above pertained to an excimer laser, this invention is applicable also to for instance to TEA Co<sub>2</sub> lasers or other discharge excitation types of short-pulse lasers, while the same effect will be achieved as in the above explained examples.

Further, so called punching metal or mesh, etc., can be used for perforated electrode (8) and in addition to the circular shape of the perforated part (19) it is also possible to use an elliptical shape, or a polygon shape, etc.

#### (Effect of the Invention)

As was explained above, according to this invention, a first main discharge electrode is

arranged in the longitudinal direction to the axial direction of laser rays in a laser gas current, a second main discharge electrode having a plurality of perforated parts is arranged opposite the first main discharge electrode, a dielectric is arranged closely attached to the back surface of this second main discharge electrode, an auxiliary electrode is deployed opposite this second main discharge electrode and a heat radiating fin is deployed at least for said dielectric or auxiliary electrode;

[page 455]

using a construction comprising a pulse circuit enabling to apply a pulse voltage between said main discharge electrodes, wherein said pulse circuit is formed as a part of this construction, or this pulse circuit is formed independently; equipped with a circuit enabling to apply voltage between said auxiliary electrode and said second main discharge electrode, which makes it possible to cool with optimal efficiency said dielectric and second discharge electrode with a simple method. The resulting effect is that stable operations can be achieved with a discharge excitation type of a short-pulse laser device even when the repeating speed of the laser oscillations is increased.

#### 4. Brief Description of Figures

Figure 1 shows a profile view explaining one embodiment of this invention, wherein Figure 1 (a) [on the left] shows a profile view indicating one embodiment of this invention, while Figure 1 (b) [on the right] shows a profile view of a section of the main part of Figure 1 (a) indicated in the upper part of the figure. Figure 2 shows a profile view explaining another embodiment of this invention, Figure 3 shows a profile view indicating a heat radiating fin part according to yet another embodiment of this invention, Figure 4 shows a profile view explaining a discharge excitation type of a short-pulse type of an excimer laser device according to prior art, and Figure 5 shows a top view of the second main discharge electrode shown in Figure 4 shown from the main discharge space.

In these figures, (8) is a second main discharge electrode, (9) is a first main discharge electrode, (10) is an auxiliary electrode, (11) is a dielectric, (18) is an arrow indicating the direction of the current of a laser gas, (19) is a perforated part, and (20) is a heat radiating fin.

Also, the same codes are assigned to the same or corresponding parts in each figure.

Representative: Masuo Oiwa, patent attorney.

[page 456]

Figure 2, Figure 3, Figure 4, and figure 5

Continuation from page 1:

(72) Inventor: Gen Nakatani  
c/o Mitsubishi Electric Corporation, Itami Plant  
Amasaki-shi , Tsukaguchi Honcho, 8-chome, 1-ban, 1-go

[page 457]

Procedural Amendment (Voluntary)

Date: March 6, 1985

To: Commissioner of the Japanese Patent Office

1. Indication of the Item: Patent Application Number Sho 59-239268
2. Title of the Invention: Discharge Excitation Short Pulse Laser Device
3. Amending Party

Relationship to the Item: Patent Applicant

Address: Tokyo-to, Chiyoda-ku, Marunouchi ni-chome, 2-ban, 3-go  
Name: Mitsubishi Electric Corporation (601)  
Representative: Jinpachiro Katayama

4. Representative

Address: c/o Mitsubishi Electric Corporation  
Tokyo-to, Chiyoda-ku, Marunouchi ni-chome, 2-ban, 3-go  
Name: Masuo Oiwa, patent attorney [personal seal]  
[illegible line]

[illegible date stamp]

5. Subject of the Amendment

- (1) The column "Detailed Explanation of the Invention"
- (2) Figures

6. Content of the Amendment

- (1) Line 16 on page 3 of the Specifications, which reads "the initial voltage of the auxiliary electrode is lower than the initial voltage of the main discharge electrode" is corrected to "the voltage at the beginning of the discharge of the auxiliary electrode is lower than discharge voltage at the beginning of the main discharge electrode".
- (2) Line 7 ~ line 8 on page 4 of the Specifications, which reads "switch (11)" is corrected to "switch (4)".

- (3) Line 18 ~ line 19 on page 5 of the Specifications, which reads "Tusselt's number is corrected to "Nusselt's number".
- (4) Figure 4 is amended as per a separate appendix.

7. List of Enclosed Documents

Figure (Figure 4) 1 copy

THAT IS ALL

## ⑫ 公開特許公報 (A) 昭61-116889

⑬ Int. Cl.  
H 01 S 3/04識別記号 廳内整理番号  
6370-5F

⑭ 公開 昭和61年(1986)6月4日

審査請求 未請求 発明の数 1 (全 7 頁)

⑮ 発明の名称 放電励起型短バルスレーザ装置

⑯ 特願 昭59-239268

⑰ 出願 昭59(1984)11月13日

⑱ 発明者 春田 健雄 尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機株式会社応用機器研究所内

⑲ 発明者 若田 仁志 尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機株式会社応用機器研究所内

⑳ 発明者 佐藤 行雄 尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機株式会社応用機器研究所内

㉑ 発明者 永井 治彦 尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機株式会社応用機器研究所内

㉒ 出願人 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号

㉓ 代理人 弁理士 大岩 増雄 外2名

最終頁に続く

## 明細書

## 1. 発明の名称

放電励起型短バルスレーザ装置

## 2. 特許請求の範囲

(1) レーザガス流中に配置され、レーザ光軸方向を長手方向とする第1の主電極、第1の主電極と対向して配置され、複数個の開孔部を有する第2の主電極、第2の主電極の背面に密着して配設された誘電体、この誘電体に密着して配設され、第2の主電極と対向する補助電極、上記誘電体および補助電極の少なくとも一方に設けられた放熱フィン、上記主電極間にバルス電圧を印加するバルス回路、並びに上記バルス回路の一部を形成するか、または上記バルス回路とは独立したものであつて、上記補助電極と第2の主電極の間に電圧を印加する回路を備えた放電励起型短バルスレーザ装置。

(2) 放熱フィンはレーザガス流中に配設され、いる特許請求の範囲第1項記載の放電励起型短バルスレーザ装置。

## 3. 発明の詳細を説明

## 〔産業上の利用分野〕

この発明は、気体レーザのうち放電励起型短バルスレーザを対象とするものであつて、特にその電極部の冷却に関するものである。

## 〔従来の技術〕

第6図は従来の放電励起型短バルスレーザ装置の一例としてエキシマレーザ装置を示す断面図であり、図において、(1)は高電圧電極、(2)、(6)、(7)はキャバシタ、(3)は高抵抗、(4)はスイッチ、(5)はコイル、(8)はレーザガス流中に配置され、レーザ光軸方向(紙面に垂直な方向)を長手方向とする第1の主電極、(9)は第1の主電極(8)と対向して配設され、複数個の開孔部を有する第2の主電極すなわち開孔電極、(10)は開孔電極(9)の背面に密着して配設された誘電体、(11)はこの誘電体(10)に密着して配設され、開孔電極(9)と対向する補助電極、(12)は熱交換器、(13)は流体ガイド、(14)はファン、(15)はレーザ匣体、(16)は絕縁物、(17)は主放電空間、(18)はレーザガス流の方向を示す矢印である。

また、第5図は上記開孔電極(1)を主放電空間側から見た平面図であり、図において、印は開孔部を示す。

次に動作について説明する。

まず、回路系について述べる。高電圧電源(1)から供給される電荷は、まずキャバシタ(2)に蓄積される。次いでスイッチ(4)が導通状態になるとキャバシタ(2)からスイッチ(4)、さらにアースラインを介してキャバシタ(3)、コイル(5)を通してキャバシタ(2)にもどるという電流ループによつて、キャバシタ(2)に蓄積されていた電荷はキャバシタ(3)に移行される。この迅速な電荷の移行に伴つて開孔電極(1)と第1の主電極(3)の間に(以下主放電空間と呼ぶ)および開孔電極(1)と補助電極(4)との間に(以下補助放電空間と呼ぶ)の電圧が急峻に上昇する。補助放電の開始電圧は主放電の開始電圧より低いので、まず開孔電極(1)に設けられた開孔部(6)において放電体即表面に補助放電(沿面放電)が起つる。この補助放電で生成する電子の一端をよびこの放電場からの紫外光で光離離されて生ずる電子

が、主放電をグロー状の均一な放電とするための役となり、次いで主放電空間側においてパルス的に主放電が起つてレーザ媒質が励起され、その結果、レーザ光が取り出される。このレーザ光のパルス幅は主放電のパルス幅によるが、一例をあげれば、短パルスレーザの1つであるところのエキシマレーザにおいては数十 nsec である。スイッチ(4)としては通常サイラトロンが用いられ、上記のレーザパルス発振が数 Hz ないし数 kHz、通常は数百 Hz のくり返し速度でくり返し行なわれる。

次に流体系について述べる。一般にパルス的に主放電が起つた後は主放電空間側は、熱的にも電荷分布の点からも不均一な状態になつておる。次のパルス主放電がアーケになり易いため、次のパルス主放電が起る前に主放電空間側のレーザガスを置き換えておく必要がある。このため、ファン(7)や流体ガイド(8)およびレーザガスの放電による過度上昇を防ぐための熱交換器(9)が配設されており、通常主放電空間における流速が毎秒数十 m という高速なガス流団が達成されている。

この従来例においては、開孔電極(1)および放電体側の冷却は、上記ガス流団による乱流熱伝達と背面の補助電極(4)を介して、背面空間で形成される自然対流による熱伝達によつてしか行なわれない。しかも、開孔電極(1)側は背面補助放電および主放電が起つてゐる間は、逆に熱入力面となる。

エキシマレーザを例として、熱入力のオーダーを試算してみると、レーザパルスエネルギー 200mJ/パルス、くり返し速度 1kHz で平均出力 200W の機種を想えると、通常レーザ発振効率は 1% であるから、キャバシタ(2)に蓄えられるエネルギーは 20kW となる。回路系におけるオーミックな損失が半分とすれば 10kW がガスに投人される。その内カナカラ数多が開孔電極(1)部の加熱源になるとしても数百 W のオーダーに達する。

一方、乱流熱伝達率を試算してみると、例えば(中嶋好郎、伝熱総論、岩波出版、118p(1982))から、カルマンのアナロジ式を用いれば、タッセルト数( $N_u^*$  と記す)、レイノルズ数( $R_e^*$  と記す)、プラントル数( $P_r$  と記す)、局所熱伝達率( $h^*$  と

記す)、流体(一般のエキシマレーザのガス組成はヘリウムが 90% 以上であるので、試算においてはヘリウムガスとする)の熱伝導率( $\lambda_{He}$  と記す)、開孔電極(1)のガス流上流側の幅から、今、局所熱伝達率を試算しようとしている開孔電極(1)上のある部分までの距離( $x$  と記す)の諸係数を用いて

$$N_u^* = \frac{h^* \cdot x}{\lambda_{He}} = 0.0298 R_e^{0.8} \cdot P_r / (1 + B(R_e^{0.1})(P_r - 1)) \quad (1)$$

$$B = 0.86 (1 + \frac{C_0 [(1+5P_r)/8]}{(P_r - 1)}) \quad (2)$$

と算くことができる。

$H_2$  の圧力を通常のエキシマレーザの動作圧 3 気圧とし、ガス流速を通常のエキシマレーザでの流速から 20m/sec とし、開孔電極(1)形状を幅 0.05m、レーザ光軸方向の長さ 0.6m とする。今、距離  $x$  のポイントとして 0.03m、すなわち電極幅の中央を設定すると、レイノルズ数( $R_e^*$ )は  $1.6 \times 10^4$  となり、また気体のプラントル数は約 0.7 ヘリウムの熱伝導率は  $0.13 \text{ kcal}/\text{m hr}$  であるから、局所熱

伝導率  $\kappa$  は  $2.6 \times 10^3 \text{ kcal}/\text{m}^2 \text{ hr}^\circ\text{C}$  と算出される。今、ヘリウムガス密度と開孔導管内温度との差を  $20^\circ\text{C}$  とすると、取り去られる熱量は、約  $200\text{W}$  となり、先述の熱入力と同等もしくはそれ以下にしか測たない。

また、上記改定温度差  $20^\circ\text{C}$  においては、例えば開孔導管内がニッケル（エキシマレーザではもつとも冠ましい材料とされている）製であるとすると、その伝導率  $0.18 \times 10^{-3}$  から開孔導管内は  $0.2\text{mm}$  も伸びることになる。一般に開孔導管は熱電体凹面密着させる構造がとられているので、熱電体凹面上を開孔導管内がスムーズにすべらす、上記の伸びは開孔導管の“セリ”となつて畏られることが多い。

#### 〔発明が解決しようとする問題点〕

従来の放電励起型短バルスレーザ装置は以上のように構成されているので、レーザ半均出力を向上させるためにくり返し速度を増すと、開孔導管内や熱電体凹面が加熱され、熱应力による熱電体凹面の破損や、開孔導管の反りによつて、主放電管へ

印加する回路を備えたものである。

#### 〔作用〕

この発明における放熱フィンは、以下で詳述するように、開孔導管および熱電体を効率良く冷却する。

#### 〔実施例〕

以下、この発明の一実施例を図をもとに説明する。図1図アはこの発明の一実施例を示す断面図、図1図イは図1図アの主要部をイーイ方向から見た断面図である。図において、凶は放熱フィンであり、この例では補助導管凹に設けられている。

次に作用について詳細に説明する。開孔導管内、熱電体凹面、および補助導管凹は、熱的には三層の複層板を形成している。例えば、開孔導管内と補助導管凹の材質をニッケルとし、熱電体凹の材質をアルミニウムとする。熱伝導率の図は、 $10^3 \text{ kcal}/\text{m}^2 \text{ hr}^\circ\text{C}$  のオーダーとなり、先述の開孔導管内からヘリウムガスへの熱伝導率より二桁大きい。したがつて、冷却の熱伝導率は、レーザガス（先述したように例えればエキシマレーザでは 90% 以上

導管のギャップ部が局的に不ぞろいになり、主放電管がアーキになりやすいなどの問題点があつた。

この発明は上記のような問題点を解消するためになされたもので、簡単な方法で開孔導管および熱電体を冷却し、これによってレーザ危険のくり返し速度を増しても安定に動作する放電励起型短バルスレーザ装置を得ることを目的とする。

#### 〔問題点を解決するための手段〕

この発明に係る放電励起型短バルスレーザ装置は、レーザガス匣中に配置され、レーザ光出射方向を長手方向とする第1の主電板、第1の主電板と対向して配置され、複数個の開孔部を有する第2の主電板、第2の主電板の背面に密着して配置された熱電体、この熱電体に密着して配置され、第2の主電板と対向する補助電板、上記熱電体および補助電板の少なくとも一方に設けられた放熱フィン、上記主電板間にバルス圧を印加するバルス回路、並びに上記バルス回路の一部を形成するか、または上記バルス回路とは独立したものであつて、上記補助電板と第2の主電板の間に圧力を

がヘリウム）への熱伝導過程であり、この過程を速めてやればより効率の良い冷却が可能となる。しかも、より簡単な方法でこれを実現するには、高速で循環され、かつ熱交換部凹で熱度制御されているレーザガスを循環部の冷却とするのが望ましい。また、ガス流速を  $n$  倍にすれば、レイノルズ数が  $n$  倍になり、結果として熱伝導率も約  $n$  倍になるが、その一方では末放電空間間にかかる圧力損失が（流速の  $n$  倍に比例するので）  $n^2$  倍になり問題である。

そこで補助導管凹を冷却する事を考える。先述したように、開孔導管内と熱電体凹と補助導管凹の熱伝導率は大きいので、補助導管凹を冷却することにより開孔導管内および熱電体凹の効率的な冷却は十分行なえる。

このために補助導管凹に放熱フィン凶を設け、この放熱フィン凶にレーザガスを流すようにした。

今、補助導管凹の面積を  $A$ 、この  $A$  のうちフィン凶を設けた際にフィン凶がついていない残りの部分の面積を  $A_0$ 、フィン凶の全面積を  $A_1$ 、フィ

ン表面の熱伝導率を  $h_0$  とすると、熱伝導係数は次式で与えられる。

$$h = \frac{A_0 + \gamma A_1}{A} h_0 \quad (3)$$

ここで、 $\gamma$  はフィン効率と呼ばれ、フィン凹表面の熱伝導率とフィン凹材料の熱伝導率、フィン凹の厚み、フィン凹の高さによって決まる値である。  
(3)式から明らかのように  $\gamma A_1$  を大きくするようフィン形状を選ぶことによつて  $h$  を構めて大きくすることができる。一例を以下に示す。

補助電極⑩の断面積を先述の開孔電極⑧と同様に、幅  $0.06\text{m}$ 、レーザ光軸方向の長さ  $0.6\text{m}$  とし、これに高さ  $0.02\text{m}$  で厚み  $0.5\text{mm}$  の放電フィン凹を  $2.5\text{mm}$  間隔でレーザ光軸と直交する方向に 200 枚設けたとすると、 $A_0$  は  $0.03\text{m}^2$ 、 $A_1$  は  $0.48\text{m}^2$  となる。また、フィン材料をニッケルとし、フィン凹部を通過するガス流速を  $20\text{m/sec}$  とすると(甲種好郎、伝熱概論、譽賛堂版、27p (1982)) よりフィン効率  $\gamma$  は  $0.86$ 、フィン凹表面の熱伝導率  $h_0$  は  $2.6 \times 10^3 \text{kcal}/\text{m}^2 \text{hr}^\circ\text{C}$  となるから、熱伝導率  $h$

つた場合は、くり返し速度  $300\text{Hz}$  の段階で、開孔電極⑧の熱伝導率による反りに起因する主放電電極間のギャップ部の不ぞろいができ、グロー状の主放電に直つて、フィラメント状の放電が起つていが、この実施例においては、 $400\text{Hz}$  までくり返し速度をあげてもフィラメント状の放電は発生せず、この冷却方法の有効性が証明された。くり返し速度をさらに  $400\text{Hz}$  オーダーにまで増した際には、この差はさらに顕著なものになるであろうことは言うまでもない。

第2図はこの発明による他の実施例を示し、この実施例においては、ガス流路において、主放電空間部と放熱フィン凹部が直列に配設されている。したがつて、第1図のように両者が並列に配設されている場合には、ファン⑩のガス流量を放熱フィン凹部通過ガス流に相当する量だけ増さねばならないのに対し、この実施例ではガス流量はそのままよいが、ファン⑩の吐出圧力を増してやらねばならない。何れの形態を見るかは、むしろファン⑩性能から決定されるものである。

は(3)式より  $3.2 \times 10^3 \text{kcal}/\text{m}^2 \text{hr}^\circ\text{C}$  となり、従来例に比べて 1 倍も大きくなる。

次に動作について説明する。回路系の動作は第4図において説明したので第2図においては省略した。

まず、レーザガスはファン⑩によって循環されている。主放電空間部を出たガスは熱交換器⑨で所定の温度に冷却され再び主放電空間部に戻されるが、その一部は補助電極⑩の背面に設けられた放熱フィン凹部に送られ補助電極⑩を介して放電体⑧および開孔電極⑧の冷却を行う。主放電空間部および放熱フィン凹部を通過したガスは再び混合され、熱交換器⑨へと導かれてゆく。

この実施例においては開孔電極⑧の厚み  $0.5\text{mm}$  放電体⑧の厚み  $2\text{mm}$ 、補助電極⑩の厚み  $1\text{mm}$  であり、各電極の断面積、フィン凹の大きさ、ガス流速は先述の熱伝導率の試算で用いた値と同じである。エキシマガス 3 気圧 ( $\text{He:Ar:Cl}=0.15:0.75:99.1$ ) を用いてレーザバルスエネルギー  $100\text{mJ}/\text{バルス}$  の発振を行つた際、放熱フィン凹を設けなか

第3図はこの発明のさらに他の実施例に係る放熱フィン部を示す断面図であり、この実施例においては補助電極⑩が放電体⑧内部に埋め込まれた構造となつてゐるため、放熱フィン凹は放電体⑧に設けられている。この場合の放熱フィン凹の材料は、放電体であつても金属性であつてもよい。

なお、上記実施例では何れもエキシマレーザの場合について主に説明したが、この発明は例えば TEA CO<sub>2</sub> レーザなど他の放電助起型短バルスレーザにも適用でき、上記実施例と同様の効果を発する。

また、開孔電極⑧としてはパンチングメタルやメッシュなどを用いることができる。開孔部⑧の形状は円形の他、丸円形や多角形などであつてもよい。

#### 〔発明の効果〕

以上のように、この発明によれば、レーザガス流中に配設され、レーザ光軸方向を長手方向とする第2の主電極、第1の主電極と対向して配設され、複数個の開孔部を有する第2の主電極、第2

の主電極の背面に密着して配設された誘電体、この誘電体に密着して配設され、第2の主電極と対向する補助電極、上記誘電体および補助電極の少なくとも一方に設けられた放熱フィン、上記主電極間にパルス電圧を印加するパルス回路、並びに上記パルス回路の一端を形成するか、または上記パルス回路とは独立したものであつて、上記補助電極と第2の主電極の間に電圧を印加する回路を備えたので、簡単な方法で第2の主電極および上記誘電体を効率よく冷却することができ、その結果、レーザ発振のくり返し速度を増しても安定に動作する放電励起型短パルスレーザ装置が得られる効果がある。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図(1)はこの発明の一実施例を示す断面図、第1図(2)は第1図(1)の主要部をイーイ方向から見た断面図、第2図はこの発明の他の実施例を示す断面図、第3図はこの発明のさらに他の実施例に係る放熱フィン部を示す断面図、第4図は従来の放電励起型短パルスレーザ装置を示す断面図、第

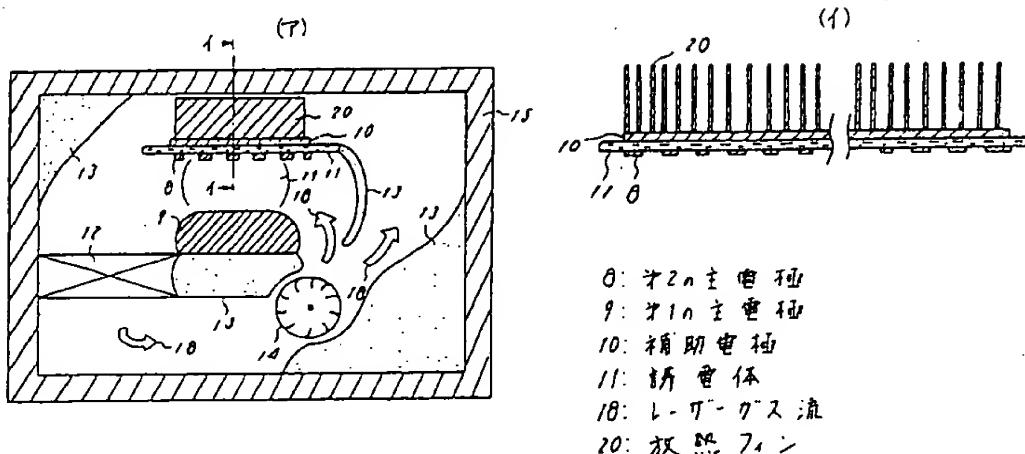
5図は第4図に示す第2の主電極を主放電空間から見た平面図である。

図において、101は第2の主電極、102は第1の主電極、103は補助電極、104は誘電体、105はレーザガス流を示す矢印、106は開孔部、107は放熱フィンである。

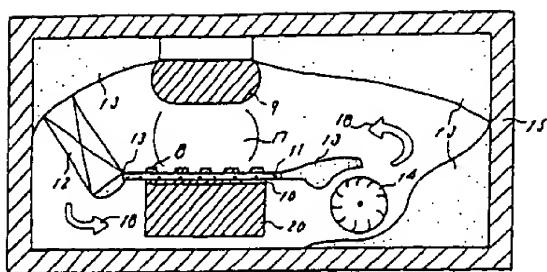
左か、各図中、同一符号は同一または相当部分を示すものとする。

代理人 大岩 増雄

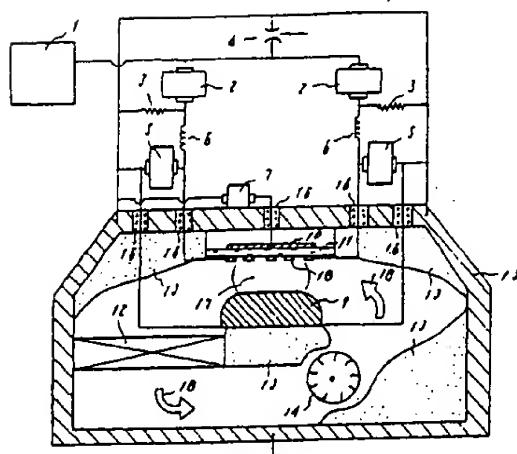
第1図



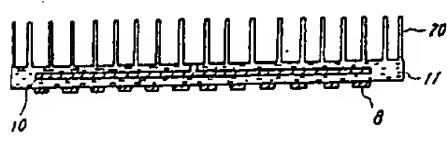
第2図



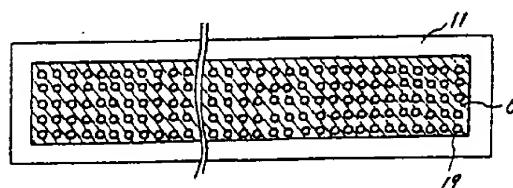
第4図



第3図



第5図



第1頁の続き

②発明者 中 谷

元 尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機株式会社伊丹製作所内

手 機 類 正 書(自発)

昭和 60 年 3 月 6 日

特許庁長官殿

1. 事件の表示 特願昭 69-239268号

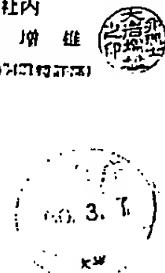
2. 発明の名称 放電励起型短パルスレーザ装置

3. 補正をする者

事件との関係 特許出願人  
 住 所 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号  
 名 称 (601) 三菱電機株式会社  
 代表者 片山仁八郎

4. 代 理 人  
 住 所 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号  
 三菱電機株式会社内  
 氏 名 (7375) 井理士火岩増雄

(郵便番号 100-0013 通話料金支拂証明)



方 式 (圖)

## 5. 補正の対象

(1) 明細書の発明の詳細な説明の箇  
 (2) 図面

## 6. 補正の内容

山明細書第3頁第16行に「補助放電の開始電圧は主放電の開始電圧より低い」とあるのを「補助放電の放電開始電圧は主放電の放電開始電圧より低い」と訂正する。

山明細書第4頁第7行～第8行に「スイッチ回」とあるのを「スイッチ回」と訂正する。

山明細書第5頁第18行～第19行に「タツセルト放」とあるのを「ヌツセルト放」と訂正する。

(3) 図面の第4図を別紙のとおり訂正する。

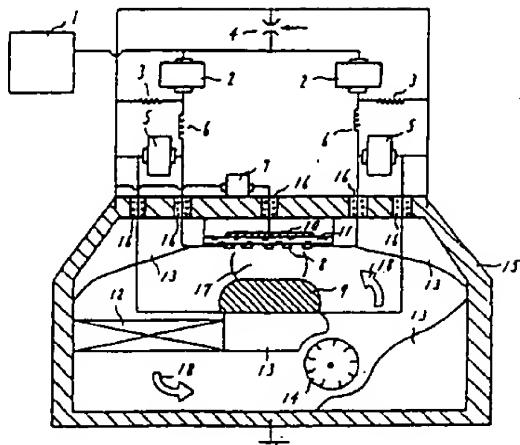
## 7. 添付書類の目録

図面(第4図)

1通

以 上

第4図



THIS PAGE BLANK 105PT01